



TITLE:

瞥見 : 1950～60年代にかけてのわが国での場の理論(素粒子論の周辺,基礎物理学の現状と未来-学問の系譜・湯川・朝永をうけて-,研究会報告)

AUTHOR(S):

大貫, 義郎

CITATION:

大貫, 義郎. 瞥見 : 1950～60年代にかけてのわが国での場の理論(素粒子論の周辺,基礎物理学の現状と未来-学問の系譜・湯川・朝永をうけて-,研究会報告). 物性研究 2008, 90(2-3): 181-199

ISSUE DATE:

2008-05-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/142646>

RIGHT:

瞥見：1950～60年代にかけてのわが国での場の理論

名古屋大学名誉教授 大貫 義郎

九後：それでは午後のセッションを始めたいと思います。ご講演は大貫先生で、タイトルは「瞥見：1950～60年代にかけてのわが国での場の理論」です。

ちょっと「自慢」をしておきますと、亀淵先生と大貫先生が、今回お話しいただけるのは、多分、僕が去年「日本には場の理論がなかった」というすごい話をしたためで、それに対する回答として、来ていただけたのではないかと思います。それでは大貫先生、よろしくお願いいたします。

腰を痛めておりまして、ちょっと座るかもしれませんが、ご容赦を願いたいと思います。やっぱり歳のせい、無理もできなくなってきておりますので、ときどき座らせていただきます。

瞥見： 1950～60年代にかけての わが国での場の理論

大貫義郎
16 Nov 2006

[Slide 1]

[Slide 1] 実は坂東さんからこの話を頼まれたときに、軽々しく引き受けましたところ、あとで後悔をいたしました。一つは私は昔の古いことについてあまり勉強家じゃないので、論文を読んでいることと、もう一つは、最近、記憶力も悪くなりまして、細かいことは覚えていません。そこで題をこういうふうにつけることにしました。ちょっと見ただけ、「瞥見」、という題をつけました。それもあちこちを見ているわけではなく、主に名古屋を中心にしているということになると思います。その点をご容赦を。副題をつけようかと思いましたが、あまり長くなると具合が悪いので、そういう意味では、たいへん至らないところが多く、幸いにして今日、南部先生をはじめ、年配の方もかなりご出席になっておられるようなので、いろいろと補っていただけるとありがたいと思います。

1 前史

Heisenberg-Pauli (1929)：相対論的場の量子論
発散の問題 (Oppenheimer, Serber, ...)

Yukawa (1934)：中間子論
中間子場の理論の展開
(Yukawa et al, 1937-)

Heisenberg (1938)：Universal Length, 第1種,
第2種相互作用 (理論の適用限界の問題)

$$\frac{e^2}{mc^2} = r_0 = 2.81 \times 10^{-13} \text{cm}$$

Sakata-Tanikawa (1940)：中性中間子の γ 崩壊
寿命：約 10^{-16}sec

Sakata-Inoue (1942)：2中間子論

Tomonaga et al (1942)：中間結合の理論

Tomonaga (1943)：超多時間理論

Sakata et al, Pais (1946)：C中間子論 (凝集力
場)

[Slide 2]

本来なら、この種の話は、私よりも亀淵先生がされるほうが適任であります。ところが亀淵先生は、もっと別な内容で、大所高所から眺めたお話をしていただくことになりましたので、私はもっと次元の低い話で、お茶を濁させていただきたいと思います。

1950年、60年代と申しまして、やや前の歴史に触れておく必要があろうかと思ひまして、まず私の気がつくことを・・・

量子力学が発生してまもなく、場の理論というものが手がけられます。多分、1927年でしょうか、Diracが creation, annihilation, そういうことを議論していますし、それからさらに、Jordanとか Kleinとか、そういう方々が場の理論を手がけていますが、いわゆる第二量子化というかたちで、波動関数をオペレータとして扱う。これらの論文を見ておきますと、多体問題ということで、いろいろと議論がされております。

[Slide 2] しかし、実際に場の理論の相対論的な formulation の基礎が与えられたのは、ご存じのように1929年の Heisenberg-Pauli の第1論文、それから第2論文が翌年に出ます。

この1929年という年は、湯川・朝永両先生が大学を卒業された年で、両先生の伝記を読みますと、学生時代からすでに、もっとも新しい学問としての量子力学を勉強されていたので、多分、この Heisenberg-Pauli の論文にも、ずいぶん刺激を受けたのだと思います。

しかしこの Heisenberg-Pauli の論文は、発散を含む。electron の self energy が発散しているということが、Oppenheimer その他の人たちによってすぐ指摘されまして、多分、両先生の頭の中には、発散の問題が場の理論というものを考えるうえで、かなり深刻でかつ重要な問題であるという焼き付けがあったのではなかろうかと思ひます。それはその後の両先生のお仕事を見てみますと、強く感じられます。

湯川先生の間接子論が1934年であります。これは場の量子論というよりは、場の理論かもしれませんが、第1論文は、本格的な場の量子論というかたちを取っておりません。この1934年というのは、ちょうど Pauli-Weisskopf のスカラー場の電磁相互作用に関する相対論的な論文が出た年ですから、この間接子の論文を先生が書かれたときに、それが日本に伝わっていたかどうかは、よくわかりません。間接子の最初の論文がいわゆる本格的な場の量子論という形を取っていなかったのは、そのような当時の状況があったかと私は思ひます。

1937年になりますと、Anderson-Neddermeyer の有名な実験が出まして、湯川の予言している間接子らしきものが、宇宙線の中で見つかった。これからわが国では本格的な場の量子論の展開が始まります。スカラー場を扱うと、どうもうまくいかない。deuteron に対して引力が出てこない。それで vector がいいかとか、そういう議論がいろいろあります。

当時、ヨーロッパでも、やはり間接子のいろいろな、Kemmer その他、いろいろな議論がありまして、日本でも湯川先生をはじめ、坂田先生、武谷先生等々によってそういう新しい物質場の理論というものが展開されるわけですが、それは1937年以降ということであって、いわば場の量子論の草分け的な仕事が、ヨーロッパと並んで、日本でも展開されてきたように思ひます。

ちょうどその少しあとに、これはずいぶん日本では影響があったと思ひますし、先ほど、南部先生もちよつと指摘されておりましたが、Heisenberg が universal length という考え方を出します。つまり、間接子は strong interaction しますが、strong interaction というのは、非常に複雑な構造を持っていて、間接子やなにかの雲が厚く核子を取り囲んでいる。そういうときに、本当に摂動論的な扱い方が可能であるのかどうか、つまり厚い雲が核子の周りを取り付けられまして、その核子が原子核に衝突いたしますと、そこから間接子が一度に飛び出す。いわゆる多重発生 multiple production が起こるというようなことの可能性が指摘されております。

このなかで相互作用には第1種、第2種と2種類ある。これはあとでくりこみ可能性と関連するような名前になっておりますが、当時の Heisenberg の論文では、coupling constant が、長さの次

元でゼロ以下のときには、いわゆる第1種相互作用、これは比較的たちが良く、扱いやすい。しかし第2種相互作用が効いてきたり、あるいは強い相互作用が効いてくると、どうも場の理論というのはうまくいかないかもしれない。要するに、場の理論に適用限界というものがあるのではないかという指摘がされておりました。

しかし不思議なことに、この適用限界の距離というのは、Heisenberg の論文では electron の古典電子半径、そのオーダーで場の理論はだめになってくる可能性がある。つまりそのまま適用できないのではないのかということに触れております。論文をひっくり返してみたのですけれども、読みにくい論文でしたが、そういうことを言っております。

適用限界という言葉は、坂田先生もしばしばあとでおっしゃられていて、どうも日本では、すべてのどんな理論においても、適用限界というのがあるのだと、適用限界を意識せずに物理をやるとするのは、よろしくない。つまり、適用限界を意識せずに、機械的にやっていると、間違った答えに到達するのではないかということが言われておまして、その意識は、どうも坂田先生その他、湯川先生はどうかよくわかりませんが、少なくとも坂田先生には、こういう意識は非常に強く植え付けられていたような気がいたします。

その少しあと、1940年に坂田・谷川（安孝）の中性中間子の γ 崩壊の論文が書かれている。これは非常に卓見で、もし中性中間子が存在するならば、proton pair をつくって、そこから γ 線の放出がおこなわれるはずである。あまりこういうことは、当時、意識されていなかった。それを指摘した最初の論文であります。それで、論文には計算がほとんど書かれていなくて、計算の詳細はいずれ発表すると書かれているのですが、私が調べたかぎりでは、それが発表されていないみたいですね。これで終わっちゃっている。

しかしいろいろな、例えばベクトル中間子では、 2γ 崩壊は禁止、偶数個の γ 崩壊は禁止と、そういうことをちゃんと書いているのです。

この答え 10^{-16} sec は、あとから見ると実験的には非常にいい値なのですが、やっているのは実はベクトル中間子の 3γ 崩壊で、その結果が書いてある。中性ベクトルの 3γ ですから、発散を含まないのです。ちゃんとこういう有限の値、ちょうど photon-photon 散乱と同じようなものですから、有限の値をこういうふうに...

1942年に坂田・井上（健）の2中間子論が現れます。いわゆる宇宙線で見つかった中間子は、湯川先生が考えておられる中間子と別個のものらしいということで、2中間子論が出てくるわけです。

ちょうどこれの少し前くらいになりますが、あるいは南部先生はご存じかもしれませんが、中間子討論会というものがありました。昭和17年じゃないかと思います。

南部：学生だったので...

伝説で私が聞くとところによると、非常にうまく考えたと思いますが、戦争が激しくなってくるので、とにかく問題を整理しておく必要があるということで、三つのテーマに分けたという伝説が伝わっております。

一つはいわゆる法則の問題、それから第2番目としては近似の問題、それから3番目として、どれが1, 2, 3かわかりませんが、模型の問題ということで、手分けしてやろうということでした。この2中間子論というのは、いわばそういう模型の問題の一つとして、考えられたのではないかと思います。

これは非常に適切な、誰が最初に言い出してそういうふうになったのか、私は事情は知りませんが、そういう形で当時の状況を非常にクリアにまとめた。

同じ年に、いわゆる近似の問題として、朝永先生の間接結合が出るわけです。朝永先生は、場の理論をこの少し前にもいろいろいじっておられますが、間接結合の場の量子論というのを扱う。

このようなわけで、いわばこの湯川、朝永両先生によって、日本の場の理論の伝統というものの、

最初の口火が切られたと思っております。

1943 年になりますと、超多時間理論が日本語で最初に出ます。

ところがこの頃になってくると、やっぱり最初からの発散の問題というのが相当深刻で、これの解決なしには場の理論というのは、一体信用できるのかどうかということがあったようです。1946 年になりますと、凝集力場、いわゆる C 中間子論というのが坂田先生と原（治）さん、あるいは Pais その他によって、提唱されます。

これは非常に素朴な考え方で、要するに、電子の self energy がプラス無限大に発散しますから、それを消すには、マイナス無限大の発散をくっつけてやればよいというのです。最初は static な、静止している電子の self energy を消すものとして、C 中間子というのが導入されました。これを記述する場としてスカラー場を用いますと、ちょうど摂動の 2 次で、電子の自己エネルギーの発散を消すように coupling constant を調節できるということが示されたわけでありました。

この話は、いわゆるくりこみ理論にもいろいろと影響を与えたということもまた書かれております。朝永先生は、そんな static で消えるというだけでは、本物とは言えないだろう、dynamical な、reaction のなかでも、self energy のところに出てくる発散が消えなければ意味がない。そしてそれは多分、消えないんじゃないかなろうかということで、いろいろと計算された結果、最初は木庭さんが坊主になるという計算の間違いもあったようですけれども、とにかくこの場合もうまくいくということが発見されて、くりこみ理論に対して、一段の弾みがつくわけです。

そして 1946 年以降、朝永先生のグループは、くりこみ理論の大々的な成功へ。そうしてその後、Schwinger, Feynman, Dyson, etc. となるわけです。

[Slide 3] この頃面白いのは、これができた少しあとに、福田・宮本両氏が、いわゆる中性中間子の $\pi_0 \rightarrow 2\gamma$ の計算をおやりになっております。この論文を読みますと、gauge invariance について ambiguity が出ちゃって、ちゃんと発散がのぞけないということで終わっているのです。

このあとで、福田・宮本（米二）・宮島（龍興）・朝永という、やはり同じような、これを regulator を使ってやろうという計算が出ておりまして、短い論文です。しかしそれでも不定性が残ってしまうというものです。

これを、あとでみんな忘れてしまって、突き詰める状況がなかったのですが、ずっとあとになりまして、こういうものは anomaly という言葉で理解される内容のもので、ちゃんと場の理論で扱えるようになりました。しかしこの間にギャップがありまして、この問題は突き詰められずに、ずっと残されてしまったような感じがいたします。

いずれにせよ、場の理論の発散は非常に深刻であるというので、いろいろと場の理論を改変しようという試みが現れます。古くは、non-linear QED で Born-Infeld の理論、これが発散を本当に除去するかどうか、わかりませんでした。非常に non-linear は難しい理論で、場の理論としてちゃんと扱えるかどうか、私はわかりません。

1949 年になると、湯川先生は non-local の理論、要するに場の理論をともかく根本から変えるような、新しい理論をつくろうというわけです。それから 1949 年には、Pauli と Villars が、これはあとでもちょっとまた引用しますけれども、regulator を使って発散を消そうと。それから non-local interaction で、相互作用を non-local にする。これはいろいろな人が、例えば Møller とか Rayski とか、Bloch、といった人たちが、いろいろな提案をいたします。しかしなかなかうまくいかない。

それから 1950 年になりますと、Pais-Uhlenbeck が、今度は、ラグランジアンの方に高階微分、無限階微分みたいなものを入れまして、それでなんとか発散の問題を処理をできないか、それから 1950 年に Heisenberg が non-linear な Fermi field のフェルミ場一元論、ともかくいろいろなものが、試みとして出てまいります。だいたい「non」がついているのが非常に多いですね。つまり、いままでの理論の一部を否定して、新しい理論をつくろうというような感じがいたします。

しかしこのような試みはどれも成功していないと言うと叱られるかもしれませんが、成功したというふうには見えない。もちろん、いろいろな影響は少しずつ残しました。しかしこのままの形では、成功しなかった。

Tomonaga et al (1946~) : くり込み理論の展開
(Schwinger, Feynman, Dyson, ...)

Fukuda-Miyamoto (1949) : 中性中間子の γ 崩壊
⇒ Anomaly (1969) の問題へ

2 場の理論の改変による発散除去への挑戦

Born-Infeld (1934) : Non-Linear QED

Yukawa (1949) : Non-Local Field

Pauli -Villars (1949) : Regulator

Møller, Rayski, Bloch, ... (1950~): Non-Local
Interaction

Pais-Uhlenbeck (1950) : Non-Local Action

Heisenberg (1950) : Non-Linear Fermi Field
(フェルミ場一元論)

:

どれも成功していない。

* * * *

1. 電磁場およびC中間子(スカラー場)による電子の自己場の効果:

摂動の2次で発散は相殺: $2e^2 = f^2$ (動的な電子に対しても成功)
(ただし後に、摂動4次では自己エネルギーの発散が残るが分かった: Kinoshita)

2. 電子対によるC中間子の自己場の発散は消すことができない. ⇒ 真空偏極の問題

Umezawa et al : (~ 1950) (混合場の方法)

混合場	vs	Regulator
Realistic	vs	Formalistic

Sakata-Umezawa (1950) : 混合場理論の適用限界

Takahashi-Umezawa(1953) : 相互作用表示の一般論

3 くり込み可能性の是非

Kamefuchi (1951) : 4体Fermi 相互作用のくりこみ不可能性の指摘

[Slide 3]

[Slide 4]

なぜ成功しなかったかという、やっぱり当時としては、見通しをつけるのに十分な材料もないし、環境もなかったということが事実だろうと思います。湯川先生の non-local も、ずいぶんあとまでおやりになっておりましたけれども、具体的なものとして実を結ぶまでには至っていなかったというのが、事実じゃなかろうかと思います。

それからこの間もちよつと、去年の何かか、あるいは牧さんのシンポときだったかで触れましたが、いわゆる日本でやられた相互作用表示の一般論、例えば梅沢・高橋の理論を応用して、林先生がこのへんを吟味されて、そしてうまくいかないことを具体的に示された。要するにこのほかにもいろいろとやって多くの努力がされたのですが、刀折れ矢尽きたという感じです。そして結局、場の理論の発散というのは、ともかく一筋縄ではいかない大問題であるということだけが、最後の印象として残ってしまったようなわけでありました。

[Slide 4] 先ほども触れました、少し話が前後するかもしれませんが、この発散をなくするという議論のなかで、C中間子が名古屋でやられまして、coupling constant をうまくいくように調整する。([Slide 4] の3行目を指して) ここで f がC中間子の coupling constant ですね。それから e が電磁相互作用。これは2次の摂動論です。この factor 2 というのは、スカラー場では、コンポーネントの数が一つ、電磁場は横波で二つ、その差によるものです。ともかくも、先ほど言いましたように、2次の摂動で動的な電子に対しても、このC中間子のほうは成功したのですが、4次で摂動を計算した人がいまして、木下先生だそうですけども、学会で発表されて、そこではC中間子がうまくいかないということを言われた。それを小川さんが聞いたときに、もうこれでC中間

子はだめだということを知ったと、私には言われました。ともかく、2次はうまくいっているけど、4次はだめであるということです。

ですから、こういうC中間子は、坂田先生の書いたものを見ますと、困難が起こったときに、この困難を克服するために導入された。つまり自然の一部しか見ていないことによって、困難が起こっていることがある。それで湯川中間子も、あるいは2中間子というのも、自然の一部を見るのではなくて、もっと広い点から、新しい実体の存在を考えて、それによって困難を克服してきたわけです。発散の問題も同じように、いまは見つかっていないかもしれないけども、こういう新しい実体を導入することによって、克服されるんじゃないかという期待があったのですが、事態はそれほど単純ではないということが分かってきたわけですね。

さらにもっと深刻な問題が、だんだん分かってまいりました。C中間子の自分自身がつくるペアですね、C中間子のself energyは何が消してくれるのかということが起こりまして、これはそう簡単に消す相手が今のところはないわけですから、どうしようもない。

そこで真空偏極、つまり真空にペアをつくったときの発散の問題というのを、どのように処理するかということが問題になりまして、梅沢さんその他、混合場の方法という立場でいろいろな場を混ぜて、名古屋では精力的にこいつが消せないかということを調べたわけですね。

計算はだいたいまず2次の摂動であたるのですが、不思議なことに、発散の、これはあとから見るとよくわかるのですけれども、当時はわからなかった。発散はみんな同じ符号になって、決して反対符号は現れてこないわけですね。これはZ-factorが1より小さいということの現れだと思いますが、2次でマイナスに必ず出てくるんですね。

それで、混合場の方法というのも、どうもだんだん深刻になってきて、限界になってきた。で、Pauliが当時、regulatorをやっております、1949年のPauli-Villarsの論文のなかで、混合場の方法とregulatorを対比させて、そして自分のやっているregulatorというのはformalisticな発散の消し方である。他方realisticな方法は、日本の梅沢たちがやっているということで、非常にPauliはこれに関心を持って褒めているわけです。Pauli自身も、自分でかなり計算してみたようで、朝永先生が1949年に、坂田先生に宛てた手紙が『素研』に載っている。それを見ますと、これは非常に興味ある方法であるとPauliが言っている。しかしなかなかうまくいかない。何かうまい手はないかと模索しているような意味の手紙です。

そういう意味で、このへんはですね、日本の場の理論の研究が、湯川・朝永以後、かなりクローズアップしてきたことを示す仕事だっただろうと、少なくとも思われます。

うまくいかないときに坂田先生は早速適用限界論を打ち出します。つまり、どんな理論にも適用限界があるので、混合場にも適用限界がある。それでその混合場の適用限界、つまりどういうところがうまくいくか、どういうところでうまくいかないか。結果として主に真空偏極の発散はうまくいきそうもないことが整理されます。

当時、くりこみ理論は、QEDでは成功はしたのですが、はたしてそれでうまく乗り切れるかどうかというのは、かなり問題があったようです。先ほど亀淵さんもちよつと触れられているのですが、4体フェルミ相互作用が、はたしてくりこみ理論で処理できるかということは、すでに問題になっていました。実は何年か前まで、4体フェルミというのは、フェルミは言いましたけれども、必ずしもそれで β 崩壊が説明できるかどうか、まだ確定しておりませんでした。湯川先生の間子論というのは、原子核の結合力を説明すると同時に、 β 崩壊も説明する。つまり核子が中間子を放出して、その中間子が電子とニュートリノに壊れるということで β 崩壊も説明しようという二つの役割を、中間子に持たせたわけですね。

ですが、その後、いろいろなことがありまして、どうも実験的には、湯川的な β 崩壊の描像はうまくないということが大体1949年頃は、はっきりしてきているのかな。昔のフェルミの4体フェ

ルミというものを取らざるを得なくなった。

その頃、亀淵さんは早速、これを当たられました。つまり β 崩壊の相互作用は、くりこみが可能であるのかと。くりこみ可能かどうかという criterion は、要するに発散を引き算する項をまず理論のなかに用意するわけです。そういう counter term というものを入れておいて、それで発散を引き算して、理論全体を有限にしようという、その counter term が、有限個で済めば、それはくりこみ可能。しかし counter term を入れますと counter term がまた新しい発散を生み出すことがある。その場合には、それを消す term を入れなきゃいけない、またそれが新しい発散を生むと、これを消す term を入れるということで、悪循環に陥ってしまい、counter term を有限個では閉じさせることができないというのが、いわゆるくりこみ不可能な理論です。亀淵先生が、最初にこういうことを4体フェルミで指摘された。これが、先ほどの九後さんの質問につながるところに話はいくのだらうと思います。

[Slide 5] そうすると、くりこみ可能なものとくりこみ可能でないものとの区別が、どこかにあるはずである。その区別は、いわゆる有名なこの話にいくわけで、要するに4体フェルミの相互作用とか、あるいは電磁相互作用の Pauli term、そういうものはくりこみ不可能である。ですがくりこみ可能なものもあるわけで、その区別は [Slide 5] の初めにあるこういう形で書かれます。

ここの次元というのが、長さの次元 L で書いてありますが、このままではちょっと具合が悪いのでして、実はこれは機械的な次元じゃなくて、微分の真階数というものに基づくものです。梅沢さんの言葉だと、真階数というのは、プロパゲータにかかる微分、その微分の数で次元を決めるので、普通の次元とはちょっと違うのです。つまりプロパゲータで微分がたくさんあると、発散が高くなるわけです。そっちから数えてくる次元なのです。細かいことは別にして、その次元でもって、こういう区別がつくのだということを指摘されたわけであります。

で、坂田・梅沢・亀淵という論文が、ここで出るというわけですが、私はこの論文の経緯については、詳しいことは何も存じておりません。ところが最近、高橋康先生が、裏話をお書きになりました。それは高橋先生の見た裏話ですから、私はそれをそのまま鵜呑みにして、しゃべるわけにはいかないし、まもなくいつ頃か知りませんが、数学セミナーに出る予定であります。出たんですか？

亀淵：『Parity』のはず。

大貫：『Parity』ですか？ 失礼しました。もう出ました？

亀淵：知らない。

大貫：そうですか。実は数学セミナーをインターネットで調べたら、まだ予告がなかったのですが、『Parity』ですか。『Parity』に出るそうでありますので、興味のある方は、どうぞそちらをお読みいただければと思います。¹

それは高橋先生の見たお話ですから、それを私が受け売りすると、かえってまずいので、ともかくこういう仕事で、ここに出てきたわけであります。

ここで問題は、こういうくりこみ不可能とか可能ということが出てまいりますと、自然は要するに第1種相互作用というくりこみ可能な相互作用だけで閉じているのかということが、当然、問題になってまいります。（[Slide 5] を指しながら）つまりここでは Pauli term です。それから向こうは4体フェルミです。当時こういう第2種相互作用は、むしろ存在してもよいのではなかろうかという考えが有力でした。

¹編注：この高橋康氏の原稿は、結局『Parity』には掲載されず、『素粒子論研究』2007年3月号に掲載され、その続編が2007年8月号に掲載された。

くり込み可能性の条件：

$$[g] = L^\eta : \quad \begin{cases} \eta \leq 0 & \text{第1種} \\ \eta \geq 1 & \text{第2種} \end{cases}$$

Sakata-Umezawa-Kamefuchi : (1952)

自然は第1種相互作用だけで閉じているか？

$$g(\bar{\psi}_A O \psi_B)(\bar{\psi}_C O \psi_D), \quad f \bar{\psi}_A \sigma_{\mu\nu} \psi_B F_{\mu\nu}$$

などは、存在してもよいのではないか？

くり込み可能性を当面の基本原理にすることの是非？

4 近似法によらないアプローチ

ローレンツ不変性，ゲージ不変性，エルミート性，
etc

Umezawa-Kamefuchi : (1951)

$$\delta J_\mu(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{n+1} \square^n J_\mu^e(x)$$

$$(a_n < 0, \quad n = 1, 2, \dots)$$

$$J_\mu^e(x) \equiv -\square A_\mu^e(x)$$

[Slide 5]

$$a_1 = \frac{e_1^2 - e^2}{e^2}$$

Källén : (1952) QED でのくり込み定数の発散

Lehmann : (1954) Lehmann 表示

Goto-Imamura, Schwinger : (1955) GIS のパラドックス

$$[J_k(x, t), J_0(y, t)] = 0 \quad (?)$$

[Slide 6]

実際、私が大学を卒業した頃は、第2種相互作用はあってもいいんじゃないかという意見が非常に強かった。朝永先生の書いた少し前のものを、昔読んだのでは、くりこみ理論は本当の意味では成功した理論ではない。つまり発散を含んでいる。で、発散が出てくるのを、ただくりこんでいるだけであって、発散のない理論ではないということです。そういう意味では、発散が出ない理論をつくる必要がある。その可能性として、まだC中間子の適用限界とか、うまくいかないとかということがはっきりしない段階で、お書きになったものかもしれませんけれども、C中間子や混合場はそういう可能性を秘めた理論であるかのごとく書いてあります。だけれどもとにかく、朝永先生ご自身も、くりこみ理論というものを成功した究極的な理論とみなす、ないしは究極理論の基準とすることについて、抵抗をお持ちになっていたようです。

私は大学を卒業した頃に、むしろ第2種相互作用というものの存在は、非常に大事でありました。それは、自然の新しい質がこういうところに顔を出しているかもしれないという期待があったようです。それから摂動論は、必ずしもうまくいかないということも meson theory その他でわかっていました。

ですからくりこみ理論を当面の基本原理にすることの是非が、かなり議論されたのですが、先ほども亀淵先生の話のなかに出ました Bethe-Hofmann の教科書、あれはくりこみ可能つまり renormalizable ということを原理として書かれているわけです。ところがそれは、相当に強くある先生から非難されていました。あんなものを信用するのはいかんと。名前は、もう亡くなった先生ですからいいかもしれません。武谷先生です。あんなものを信用してやってはいけない。あれはくりこみ可能ということを前提にしているけれども、そういう前提はあり得ないんだということを、非常に強くおっしゃいまして、僕たちはちょっと抵抗を感じたものです。

ただしこれは、すごく影響があったらしくて、実は数年前に名古屋に、私よりちょっと年配の方

が来られまして数学教室で講演されたときに、私は出席したのです。そのときは、数学の人たちに対して量子力学の話がされたのですが、いろいろと余談に及びまして、いまでもくりこみ可能性ということを重視する人がいるが、しかしそれはよくない考えだということを言われたのを、覚えております。

つまり、いまは情勢がかなり変わってきておりますけれども、くりこみ可能性というものは基準にならないという考えの、当時濃厚であった名残りだと思います。

私は非常に素朴な質問をいたしまして、もしも将来、理論ができたときに、regularize されて、発散のない理論が開示できたとしたならば、それに一番近い現在の理論は、くりこみ可能な理論だと考えて、それを一つの基準とすることはできないでしょうかということと言ったところ、そういう考え方もあり得るというご意見だったようですけれども、非常にこれは当時、強い影響を与えていたのではなかろうかと思えます。

こういうことで、発散の問題は大変深刻で、くりこみ理論は当面の処方としては成功したということですが、解決が充分には得られないままに事態は進行していくわけです。

ところが、近似法によらないアプローチというものがあり得るのだということが示されます。つまりいままではほとんど摂動論です。摂動論でこんなのが起こる、発散が起こる、そういうことをせずに、ローレンツ不変性とか、あるいはゲージ不変性とかエルミート性とか、そういう議論の大枠から押さえ込みができないかというような考え方が出てまいります。これも亀淵先生に説明を願うべきでしょうけれども。

（[Slide 6] を指しながら）この論文[梅沢・亀淵 1951]は、このあいだもちよつと何かのときにお話しましたが、記憶される方は少ないかもしれませんが、いわば真空偏極の問題の流れとして位置付けられるのではなかろうかということです。これは外部の source です。これは induce される current です。こういうかたちの一般形を、これはだから外場に対する操作、いまの言葉で言えば、linear response です。そういう外場をあてましたときに、どういう current が induce されるかということを、こういう invariance, ローレンツ不変性とかゲージ不変性、エルミート性とか、そういう理論の大枠だけで押さえ込むということを、ハイゼンベルグ表示で扱った論文です。これは私の理解に従えば、非常に初期の段階にやられた優れた仕事で、これでこの符号が全部一定にです。中間には electron が入ろうが中間子が入ろうがそれは関係しません。2次の摂動で真空偏極が消せなかったというのは、これのごく特殊なケースです。こういうふうに一定符号に全部出てきてしまうというような結論をこいつは導き出す。

ですからそういう意味では、独創性の高い仕事で、こういうアプローチは、多分これが最初ではなかろうかと私は思っております。

つまり発散とか何かの問題ということに直接触らずに、理論がこういう条件を満足していればどうなるかということと言ったものでありまして、前にも何かのときに触れましたけれども、あとで梅沢さんと話したときに、梅沢さんはこれを悔やみました。もっと発展させるべきだったと。なぜおやりにならなかったんですかって聞いたら「当時の雰囲気では、とても自信がなかった」。

まずこれは『Physical Review』に投稿されて受け付けられなかった。発散を含む理論が、こんなことになるはずはない。で、これは多分、『Progress』に出たはずですが、高橋先生に言わせれば「出すのが早すぎた」のだそうです。

それともう一つは、いま読んでみるとやっぱり、最初の仕事というのは、いろいろなことが整理されていない段階での仕事ですから、読みにくいのです。確かに非常に努力しないと読めない、簡単にフォローできないような仕事です。理論はあまり早すぎると良くないというのが、高橋先生の教えであります。

梅沢さんはこれを残念がっておりました。ともかく、それをやっていくような、押し進めるよう

な環境もなかったし、自信も充分になかったということです。

のちにこういう思想は、Källén とか Lehmann とかによって展開されます。Källén は QED でくりこみ定数がどうなるかということ、それを枠組みから押さえ込むという仕事を行い、くりこみ定数の三つのうちの少なくとも一つには、発散があるはずだということを示しました。Lehmann は、理論がちゃんと閉じているとすれば、こういうかたちにならなきゃならないということ、Lehmann 表示といういわゆる spectral representation で示しました。

こういう枠組みの中で、日本では例えば、後藤・今村・Schwinger のパラドックスといわれているものがあります。例えば electron の current の空間成分と時間成分、これは機械的に計算しますと 0 になりますが、これを 0 と置くというと、すぐにパラドックスが起こってくる。ここには実は、ゼロではないような、Schwinger term と呼ばれるものがつくであろうということで、回避が試みられます。こういう枠組みに関する理論も、全く出てこなかったわけではありませんけれども、日本で梅沢・亀淵に続く仕事というものを直接受け継ぐ発展は、残念ながらできませんでした。それは梅沢さんも悔やんでいましたし、私もそう思います。なお、亀淵さんから、もっと詳しいコメントがあれば……

[Slide 7] そうこうしているうちに、くりこみ理論は摂動展開で完全に発散を吸収してもどうも怪しい、整合的な理論ではないのではないかというのが出てまいります。一つは Landau 一派、Landau-ハラコニホフという論文が出まして、これが 1954 年なのです。しかし私どもがこれを知ったのは 1955 年で、最初はロシア語の論文でした。木庭先生がロシア語が達者なので、それを訳して、基研での研究会の折りに説明してくださったのを覚えております。

Landau というのはすごいのです。QED の複雑な連立方程式ですね、vertex とか何か、あれを何のかんの理屈をつけながら、近似解らしいものを見つけてくるのです。本当にその近似がいいのかどうかという問題はかなりあるのですけれども、とにかくもそういうものを見つけてくる。

そうしますと、カットオフを無限大にした極限でくりこまれた QED の coupling constant は 0 になってしまいます。ですから本当に解かれてしまうということ、相互作用がないことになってしまいます。あとで分散式がだいぶ流行るとき、Landau は、分散式はナンセンスである、なぜならば、あれは $0 = 0$ という式を書いているだけに他ならないという悪口まで言うわけですが、とにかくそういうことです。

それから 1954 年に Lee が、非常に特殊なモデルを出します。これは non-relativistic なモデルです。V という、当時の V 粒子の V を取ったのだろーと思いますが、それと N, nucleon, フェルミオンですね、それに θ というボーズ粒子を加えて系は V と N と θ からなる。ここでは N と θ は V に戻るけど、N が V と θ になることはない。V は θ を吐き出すだけ。N は吸収するだけという特殊な相互作用を導入した。これは解けるモデルです。

ただし実際に Lagrangian をつくってみると、これは non-local のモデルで causality や何かを破りますから、relativistic にこれを拡張することはできないんだけど、V と N が non-rela の static のときは、解くことができる。

そして解いてみますと、くりこまれた coupling constant g_1 はこういうふうな表示になります ([Slide 7] 4 行目左式)。それで、ここに発散が出てまいります。逆に Z-factor を計算してやると、 g_1 を有限、つまりくりこまれた coupling constant を有限に置くと、Z-factor は negative になります (同右式)。こういうのは、cutoff しても、ある程度 cutoff を大きくすると、必ず Z は negative になります。この negative になることから、いろいろおかしいことが起こってきて、むしろ Pauli とか Källén は、そのことに着目して、いろいろと調べておりますけれども、なかなか consistent な理論ができません。

5 くり込み操作の整合性？

Landau et al : (1954) QED の近似解？

Lee : (1954) Lee Model , $V \rightleftharpoons N + \theta$

$$g_1^2 = \frac{1}{1 + g^2 \times \infty} g^2, \quad Z = 1 - g_1^2 \times \infty$$

↓

局所場の理論への不信, くり込み理論への不信

↓

アンチ場の理論

S 行列と解析性, 分散式, ...

くり込み可能性の軽視

超量子力学? ($\lesssim 10^{-14}\text{cm}$)

もの vs かたち

理論を無視した現象論

60 年代, 主要な基研長期研究会 (素粒子)

1. 素粒子の模型と構造 (1959~ 75)

2. S 行列と対称性

6 場の理論の新しい進展

Yang-Mills : (1954) ゲージ理論

Utiyama : (1956) ゲージ理論

Nambu-Jona-Lasinio, Goldstone : (1960)
対称性の自発的破れ, 南部-Goldstone の定理

Higgs, Kibble : (1964) Higgs-Kibble 機構

Weinberg, Salam : (1967) 電磁-弱相互作用の統一モデル

't Hooft : (1971) Higgs-Kibble 機構のもとでの
ゲージ場のくり込み可能性

[Slide 7]

[Slide 8]

この辺は結局, 場の理論への不信感を, 少なくとも日本においては, あるいは名古屋においては, 強く突きつけたような感じがいたします. 要するに場の理論への不信, それからくりこみ理論への不信をつくりました.

このことから, アンチ場の理論的な発想が出てくるようです. つまり, 場の理論というのはどうも信用できない. 場の理論をそのまま使わずに, S 行列の理論とか解析性, あるいは分散式も含めて, 場の理論そのものとは直結せずに使うような方式, あるいは一部, 場の理論を書いても, あまり場の理論そのものを追求するというかたちは取らないというのが, 国際的にも強く出る. しかも日本ではくりこみ可能性ということが軽視されてきます. 少なくとも名古屋では, 軽視されました.

だんだんとそれが高じてきますと, 超量子力学という言葉が出てきます. つまり, 適用限界が場の理論にはある. そして超量子力学というものが現れてくるかもしれない. 私などは, このこういいう, 1955, 56 年の頃には, そういう空気を, だいぶ坂田先生から受けまして, それがどこかは, 先生ははっきり言わなかったのですが, 10^{-14} センチつまり核子の Compton 波長あたりが一つの目安でした. これはだから, いまから見るとずいぶん急進的ですが, 要するに革命待望論であって, 若者を勇気づけるのです. 彼らは乱世を好みますから, 革命に参加できるかもしれないということは, 若者を勇気づける可能性がある.

これもずいぶん変なものですけれども, 例えば武谷先生なんかも, やっぱこういうことを感じたのだと思いますが, 核子に対して反粒子がちゃんと場の理論的に振る舞うかどうかを調べろという. それで反粒子を調べている核力グループの人がおりました. positronium の真似をして, どういうことが起きるとか起こらないとか.

要するに, 理論に対する不信感ができたのです. これが強くなると, 全部じゃないけど, 理論を無視した現象論が流行ります. 例えばある現象論をやって, それは S 行列ユニタリーですかという質問を僕がします. そうすると, そういうのを聞くのはナンセンスだと言わんばかりな顔をする. つまり超量子力学になれば, なんとでもなっちゃうかもしれないけれども, そういう雰囲気はゼロではなかった.

ただ、この時期に日本で場の理論は衰えたかという点、仮に目安として、『Progress』の論文の数を眺めてみます。そうすると、一応、1950年代から60年代にかけて、論文はずっと出ているわけです。だいたい平均、年間に、インデックスだけ調べると、20から30くらいの論文が常に出ています。ですから決して場の理論が衰えて、論文数が減ったということはない。もっとも素粒子論の人口は増えていますから、その比較をしておりますけれども、決して場の理論が衰えたということが、数からは言えない。また、その頃でも、例えば中西さんとか荒木さんとか、あるいは西島さんも日本にいる機会はあまりなかったかもしれませんが、着実に研究を進められたわけです。しかし全体として見るならば、それが限られていたというよりは、むしろこういう雰囲気の中かで、その影響力は弱まっていたのではないかと、私は思います。

そういう状況が続きます。まだ時間はちょっとありますね。

[Slide 8] 基礎物理学研究所でのこの頃を代表するもので、長期研究会というものが開かれます。これが二つ、「素粒子の模型と構造」と「S行列と対称性」の研究会です。「S行列」の方はちょっと調べがつかなかったのですが、年代は書いていないのですが、「模型と構造」の研究会は、ずいぶん長いこと続いています。1970年代の半ばまで続きまして、これがいわば、あんまり場の理論と直接に関連しないかたちでやられたのです。

実は、この「模型と構造」の研究会で、若い人が研究を発表されて、私非常に印象的だったのは、現段階では理論は必要ない、現象を勉強することが物理である。そういう意見も出るような状況だった。つまり、理論不信という雰囲気を、一方においては生みだしていたんじゃないかという感じが、私にはいたしました。

実はこのあとお話をもう少し用意したのですが（[Slide 8] 後半）、2、3日前に、坂東さんからメールが入りました。しゃべるついでに対称性の歴史の話をしろと言うのです。それで急遽、方針を変更せざるを得なくなりまして、主催者の命令に従いまして、少しそういう話をしようかと思えます。実は小川さんが亡くなられたときの追悼の中かで、そのような昔話を予定していたのです。ところが私の話し方がまずく、時間がなくなって、全然話さずに終わってしまいました。そのときのOHPがあるので、それを入れますが、なにしろ自分の関係したことを自分がしゃべるというのは、あまり面白くもないし、気持ちのいいことでもないのです。ちょっと気が引けながら、しゃべらざるを得ません。

実はこういう場の理論軽視の雰囲気の中かで、模型と構造とか、対称性の議論というのが出てきたわけです。対称性について、小川先生に私が書いた手紙や何かでは、まともに場の理論を使っているいろいろなことを書いているのですが、論文を書くときは、一切それは抜いてあります。というのは、こんなことを書いても坂田先生は興味を持つはずはないし、評価してくれそうもないからです。

つまり場の理論というのは、重箱の隅をつつくようなものだというのが、しばしば私は聞かされておりましたので、そんなことを強調してしゃべると、いつ潰されるかもわかりませんから、そこは慎重に、そんなことを主張しなくても通用するような話をしております。

ただ私自身は、1960年代の論文、自分で眺めてみますと、けっこう場の理論に関係する論文を書いています。ただ、どうもそれを意識しているかどうかわからないけど、発散の問題と絡まないようなことばかり扱っているわけです。例えばsymmetryに関する問題とか、あるいはchiral dynamicsの発散と関係しない話とか。あるいはstatisticsの問題とか、みんなそういうところで、なるべく発散と関係しないような所だけ扱っているのを見ると、なにか場の理論というものの発散の深刻さをやっぱり避けて通っていたという感じがします。

[Slide 9] ところで昔、こういうものを書いたのです。お読みになった方もおられるかと思いますが、一番上に『素研』に書いたものがございます。

対称性の話

「対称性理論事始」

素粒子論研究, 82, No.6, 503 – 547 (1991).

「対称性理論ことはじめ」

パリティ, 6, 61 – 66 (1991).

「対称性の発見 --坂田模型からクォークへ--」

科学朝日, 第54巻9号, 56 – 61 (1994).

「対称性の発見 --坂田模型からクォークへ--」

科学朝日編集部編『物理学の20世紀』朝日選書 619
(第9章, 189-208) (上記の加筆・再録)

[Slide 9]

Ogawa's Proposal (Sept 1958):

Similar properties for the fundamental triplet

$$\begin{cases} \Delta N_p = \Delta N_n = \Delta N_\Lambda = 0 \text{ in strong int,} \\ \text{Spin of } p, n \text{ and } \Lambda = 1/2, \\ m_p \simeq m_n \simeq m_\Lambda \end{cases}$$

↓

Assumption for strong interaction:

$$\begin{cases} \text{Charge independence,} \\ \text{Invariance under } p \leftrightarrow \Lambda, n \leftrightarrow \Lambda. \end{cases}$$

Effective meson-baryon interaction:

$$\begin{array}{ccc} \bar{\psi}(1)\tau(1)\psi(1)\phi(1) & & \\ \psi(1) \equiv (p, n), \quad \phi(1) \equiv (\pi^+, \pi^0, \pi^-) & & \\ \downarrow & & \\ \begin{array}{cc} p \leftrightarrow \Lambda & n \leftrightarrow \Lambda \\ \swarrow \quad \searrow & \swarrow \quad \searrow \\ \bar{\psi}(2)\tau(2)\psi(1)\phi(2) & \bar{\psi}(3)\tau(3)\psi(3)\phi(1) \\ \psi(2) \equiv (\Lambda, n), \quad \phi(2) \equiv (\bar{M}, M^0, M) & \psi(3) \equiv (p, \Lambda), \quad \phi(3) \equiv (L, L^0, \bar{L}) \end{array} \\ \begin{array}{ccc} M, L & \leftrightarrow & K^0, K^+ \\ \text{iso-singlet meson} & \leftrightarrow & \text{linear comb. of } M^0 \text{ and } L^0 \end{array} \end{array}$$

[Slide 10]

私が今日しゃべることも、これ以上のことは全然しゃべれません。このときは、集められる資料を極力集めてそれを書いたので、今回はこのなかから、ちょっとした部分を抜き出してしゃべるだけです。この内容は公になっていることですから、特に裏話というわけにはいかないわけです。

[Slide 9] の下の三つほどは、『素研』に書いたらあちこちから頼まれまして、通俗的なものとしたので書いたものです。ですから元はここ [『素粒子論研究』] なのです。

ただこれを書いたとき、対称性を一緒にやった池田さんがもう亡くなられてしまって、相談することができなかったのですが、小川さんは1991年にはすぐそばにおられましたので、いろいろと意見を聞くことができました。これが完成したときに小川さんは非常に喜んでくれました。

このなかから、いまから見ると大抵わかりきったようなことが、当時はいかにわからなかったのかということ、ちょっとお話しして、こんなもんだったということを述べたいと思います。あと何分ですか。もうないですか。

九後 :あと5分ぐらいです。

大貫 :またこれが尻切れトンボになってしまったら、まったく申し訳ないので先を急ぎます。

[Slide 10] 実は1958年の10月頃に、基研で部員会議か何かがありまして、私はそこで小川さん会い、小川プロポーザルというのを初めて知ったのです。これまで坂田模型でいろいろ計算なんかあったわけですが、しかし坂田先生は、具体的な計算の細かいことはあんまり関心がないんですね。ちゃんと binding energy を出すのが難しいじゃないですかと言ったら、泰然自若、deuteron だって、binding energy がちゃんと計算できてないじゃないですか。ましてやこれはできなかつたて、驚くにあたらない。言われてみると、確かにそれはそうなのです。だから何か別のアプローチを模索していたところに、小川さんが非常に新しい proposal をしたのです。

それは、三つの基本粒子、proton, neutron, Λ は、strong interaction において、おのおの粒子数が独立に保存している。それから全部 spin が $\frac{1}{2}$ 、質量はほとんど等しい。それで小川さんは、三つの粒子の similarity ということに着目されまして、charge independence に加えて、こういう入

れ替えを考えたらどうであろうかと, proton- Λ , neutron- Λ のそれぞれの入れ替えでの不変性を考えたらどうかということを考えました.

そして effective に, baryon と meson との相互作用をつくってみると, どうも, 細かいことは別として, isospin 0 の粒子があるのではなかろうか, あるらしいと. 自信が持てないけれどもあるらしいということを書いて, Letter にまとめて出されたわけです. これは 1958 年です. これが『Progress』のレフェリーに引っかかったのです. そして小川さんは諦めちゃった. そうしたら湯川先生が激励して, 出しておきなさいと言われて, 『Progress』にまた再投稿したのだそうです.

だからこれは, 投稿した日付と publish されるまでは, Letter ですが, 半年ぐらい空いちゃっているのです. そういうことをあとから聞きました.

けどともかくも, 何かすっきりしない, これはどうなんだろうということ, 僕に preprint みたいなものを持って来て, 聞いたのです. これが 1958 年の 10 月頃でした. 僕はその晩, 北白川学舎に帰りまして, これは何か面白いことがあるかもしれないということ考えてみました.

<p>Ogawa's Fundamental Hamiltonian Satisfying the Assumption for Strong Interaction: (Dirac matrices omitted)</p> $H' = \sum_{(i,j,k)} G \{ 2\bar{N}_i N_j \bar{N}_j N_i + 2\bar{N}_j N_i \bar{N}_i N_j + (\bar{N}_k N_k)^2 - 2\bar{N}_i N_i \bar{N}_j N_j + \varepsilon [(\bar{N}_k N_k)^2 + 2\bar{N}_i N_i \bar{N}_j N_j] \},$ <p style="text-align: center;">$(i, j, k) = (1, 2, 3) \text{ cyclic.}$</p> <p style="text-align: center;">$N_1 = p, \quad N_2 = n, \quad N_3 = \Lambda.$</p>	<p>Discovery of $U(3)$ Symmetry (Y.O. Oct 1958):</p> $\begin{cases} \bar{\tau}_{ab} \cdot \bar{\tau}_{cd} + \delta_{ab} \delta_{cd} = 2\delta_{ad} \delta_{cb}, \\ \text{Fierz identities for } \gamma\text{-matrices} \end{cases}$ <p style="text-align: center;">\Downarrow</p> <p>General form of charge independent 4-fermion interaction:</p> $H' = \sum_A \{ g_A (\bar{\mathfrak{N}} \gamma_A \mathfrak{N})^2 + g'_A (\bar{\mathfrak{N}} \gamma_A \mathfrak{N}) (\bar{\Lambda} \gamma_A \Lambda) + g''_A (\bar{\Lambda} \gamma_A \Lambda)^2 \}$ <p style="text-align: center;">$\mathfrak{N} = (p, n), \quad \gamma_A = \gamma\text{-matrices.}$</p> <p style="text-align: center;">$\text{invariance under } p \leftrightarrow \Lambda, n \leftrightarrow \Lambda$</p> <p style="text-align: center;">\Downarrow</p> $H' = \sum_A g_A (\bar{\chi} \gamma_A \chi)^2, \quad \chi = (p, n, \Lambda),$ <p style="text-align: center;">Invariant under $\chi' = U\chi$ (U: arbitrary 3×3 unitary matrix)</p> <p>Thus</p> <p style="text-align: center;">Ogawa's proposal $\iff U_3$-symmetry in the limit of $m_p = m_n = m_\Lambda$.</p>
---	--

[Slide 11]

[Slide 12]

小川さんはこの論文で, ([Slide 11] を指して) これ見てください, 基本的相互作用をこうとるということです. これは書いてみたというだけであって, まったく想像を絶する複雑さです. 小川さんは目の子で勘定をして, さっきの条件を満足するものを見つけられたらしいのです. しかしこれはどうもよくわかりません. 一体なにを, この symmetry は言っているのかということが, よくわからない. いまだとこういう symmetry はすぐわかります. charge independence と入れ替え $p \leftrightarrow \Lambda, n \leftrightarrow \Lambda$ での不変性, これがどういう symmetry か, だいたい group theory という考え方があれば見当がつくかもしれません. けども当時は, group なんていう考え方は全然私どもにはなかったし, それからこれが連続群であるということは, 少し後でいろいろな計算をやっているなかで初めて知って, そういうアプローチをやればよいということに気が付くことになるのです.

[Slide 12] しかしその前に幸いなことに, γ -matrices に対しては, Fierz の identity というのがあり, τ -matrices についてもきれいな, Fierz に相当するものが存在するということは知っていましたので, これを使うと 4 体フェルミでのフェルミオン場の順序の組み替えができるわけです.

組み替えをして単純化すると, 4 体フェルミの相互作用で, charge independent なものというのは, [Slide 12] のはじめの H' のかたちに書かれる. つまり τ -matrices がどこにも出ないように書

けるのです。

これが charge independent の一般形です。あとはこの入れ替えの不変性を使うと、すばっとこういうかたち ([Slide 12] の 2 番目の H') にまとまっちゃう。 χ というのを p, n, Λ としますと、上の条件でこういうかたちに一気にまとまる。だから charge independent で入れ替えをやるといって、一般形としてこの相互作用になるというようなことがわかりました。

こうして見ますと、これは 3 次のユニタリー変換で不変であるという非常に特徴的な性質がある。ところがこれが何者か全然わからないのです。というのは、私はそんなものは初めてだし、非常に新しい symmetry でフレッシュな感じはしましたが、よくわからなかった。

しかし結局、小川さんの proposal というのは、3 次のユニタリー群のつくる対称性と等価であるということだけはわかったので、そこでこいつをまともに扱えばいいだろうということでした。

これはいまは、こういう問題はほとんど常識的かもしれませんが、初めて私はここで、表現論というものが重要だということを、小川さんへの手紙に書きます。と言っても何か知っているわけじゃないのです。表現論というのは、3 次元回転群ぐらいしかせいぜい知らないのです。けどこの群の既約表現をすべて決定せよ、これが次の目標になりました。そうすれば、複合模型の構造というものも、かなりの部分を、その dynamics の detail によらずに決めることができるであろうということを書いた手紙が残っています。手紙は 3 通ほど ([Slide 13]) ありますが、そのなか

Letters to Ogawa from Y.O. (1958)

(Sakata Memorial Archive)

- 29 Nov: Summary of some results obtained from U_3 -symmetry and possible existence of π^0
- 03 Dec: Derivation of octet ps-mesons with the same mass in the symmetry limit on the basis of general argument of Beth-Salpeter equation
- 06 Dec: Construction of the invariant operator (Casimir operator) and its eigen-value in \mathfrak{g} -representation

[Slide 13]

には、場の理論のいろいろな計算が載っているし、Bethe-Salpeter amplitude で bound state を書いて、そして B-S 方程式の一般形で議論をやっている。それは近似によらない議論ですが、しかしそんなことはどうでもいいのです。私は自分で結果を納得するためにやっただけのことであって、論文にそんなことを書くと、偉い先生に潰されるかもしれない。結果だけは間違えていなければいいんです。

私は非常にその頃、いま思い出してみると慎重で、この仕事をやっているときに、坂田先生にはほとんど話していないのです。ことによると一回ぐらいかすかに話したかもしれないが、とにかくできあがってから、話さないはずという意識がありました。取り越し苦労かもしれないが、そのような雰囲気が私のまわりにはあったのです。そういうことで、これ以上話すとまた話が長くなりますが、その頃の手紙が幸いにして残っており、これらは 1958 年の暮れに書かれています。手紙は、そういう細かいこと、対称性のアプローチの重要性、表現論の重要性とか、そういうことを強調しており、それらは坂田記念史料室に残っているはずです。あとから考えてみますと、表現論というのは非常に重要だということが、このことばかりじゃなくて、わかってまいります。特に「場」という演算子を扱う場合には、表現論というのを抜きにすると、まともな議論ができなくなってしまう。例えば南部先生の南部・Goldstone, spontaneous breakdown というのは、新しい表現の場の理論として書かれるわけです。いま考えてみると、そういう重要性があるわけですが、わ

れわれは十分にそこに気が付くまでには時間がかかりました。

もっといろいろと話す内容はありますけれども、長くなりました。どうもつまらない話で申しわけないと思っています。

九後 :何かご質問、コメントがございましたらどうぞ。

その U_3 対称性に気づかれたというのは、何年の仕事ですか。

大貫 :気がついたのは 1958 年の秋です。この数学は誰に聞いても知らないのです。それから今と違って、本屋に群論の本なんて置いてあるような時代じゃないのです。数学の友だちにも聞いたけど、全然専門が違って、それは何かという顔をしているのです。しょうがないから、これは手づくりよりほかはないと。ゼロから出発して始めるわけです。手づくりだから時間がかかるわけです。

幸いにして、池田さんという方が数学出身なんです。彼は群論の本や何かを、僕なんかよりは知っているのです。僕なんかは本当に昔の、Van der Waerden の教科書の群論の薄っぺらな本をちょっと見たぐらいですから、知識らしい知識はないのです。そういうことで、池田さんがいたおかげで、これを非常に速く進めることができた。もし私一人でやったなら、ものすごく時間がかかったでしょう。そういう点で、池田さんが加わって一気に議論が進んだのです。

最初、池田さんは、これに興味がなかったのです。小川さんによるとそれは入れ替えの対称性で、こういう有限群というのは非常に難しい。ですから、自分は興味がないと池田さんは言ったそうです。それで小川さんはその後、僕の手紙を持って行った。そうしたら池田さんがそれを読んで、これならいけるって。つまり、連続群、もうすでに手紙のなかに連続群のことや、generator のことを僕は書いていましたから、それを見て、これならいけるということで、池田さんにも充分理解していただいた。

九後 :ほかに何かコメントはありますか。

亀淵 :その頃、私はロンドンにいました。そこにイスラエル大使館付きの海軍武官が、ときどきセミナーにやって来るのです。それで彼の名前は Ne'eman です。彼は物理の勉強を、ラカーなんか教わった。それから彼のほうは、群論は知っているんです。物理のいろいろなことは、あまり知らない。そういうのを、Salam が何かと話していたんです。

それで例の Ne'eman, Gell-Mann のああいふ論文が出たのです。物理は知らないけど、群論を知っている人もいてという感じがしました。

九後 :Ne'eman は、この I-O-O の仕事なんかは知っていたんですか。

亀淵 :そうそう。論文も『Progress』に出たのをコピーに取って、Salam と一所懸命勉強したのです。

大貫 :それはこの仕事に一番最初に興味を示したのは Salam です。1959 年の Kiev conference ですね、武田暁先生。そのときに小さなものを書きまして、武田さんに持って行ってもらった。そうしたら、Salam が strange particle の session で、これを紹介したのです。そうして帰って来て、Salam が興味を持っていたよということを武田さんが教えてくれた。Salam というのは独特の勘を持っていて、非常に興味を示して、あとで Salam-Ward という論文を書いています。これは vector 中間子の octet を言うわけです。

未だ vector 中間子の、当時、 K^* は見つかっていなかった時期ですけども、それを抜け目なく彼は書いて、Salam に言わせると、あれを書いたときには、また Salam のはったりだということを言われたということで、本当かどうか知りませんが、ともかくも、Salam は非常に早くこの論文に興味を示した人の一人だと思います。

それからついでに言いますと、山口嘉夫さんは、当時セルン (CERN) におられました。小川さんの Letter を読んで、非常に関心を示しました。それでいろいろと、小川さんと共

同で論文を書こうという話があったらしいのですが、小川さんはそのときには、すでに日本でも、われわれの仕事が進んでいるので、やめたいということで、別々に論文を書くことにしたそうです。

ちなみに山口さんは非常に精力的に、現象論をおやりになっておりますが、山口さんの symmetry というのは、charge independence と例の入れ替えです。連続群の U_3 とか、表現論というかたちでは入っていない。そういうかたちが実際だと思います。

南部：山口さんのあれは、 $SU(3)$ 。

大貫：その次ですね、octet baryon の話は。

南部：その次ですか？

大貫： $SU(3)$ の話がですね、山口さんは、ここに書いていなかったかな。今日は持って来ておりませんけれども、 $SU(3)$ は 1960 年の初め頃。どこから出てきたかという名古屋模型なのです。それが新聞で伝えられた。日本で名古屋模型をやったときに、武谷さんがここで記者会見をやったのです。それが新聞に載りまして、1959 年の暮れのころです。それが向こうへ伝わったらしい。山口さんはそれに刺激を受けて、山口流に baryon の octet をつくるわけです。

その octet の組み方はどうかというと、それもちやんと坂田先生に書いた山口さんの手紙が残っています。私ももらったのですが、なくしてしまいました。坂田先生への手紙は、坂田記念史料室に残っていますけれども、何か B 物質、それに lepton と anti-lepton をくっつけた。そうすると、ちょうど lepton は electron, ν , μ の三つですから、くっつけますと、そこで octet ができる。

どうしてこれが symmetry になるのか、僕はわからなかったけれども、とにかく八つという数だけは出る。少なくとも最初の段階の、山口さんの言ってる $SU(3)$ というのはこのようなものでした。それからあとの発展については、私は知りません、だけど最初に坂田先生に書いたものは、そういう idea でした。

南部：じゃあ、山口さんも結局、もとは坂田。

大貫：だと思いますね。少なくとも僕の知っている初めの段階は。

南部：坂田さんから刺激を受けて、しかもものすごく交流があったわけですね、そういう意味で、論文になる前に。

大貫：とにかく、あれは非常に評判が悪かったと山口さんは言っていました。セルンのセミナーでは。

南部：誰にやられました？ van Hove か何か、そんなのとか。

大貫：誰にやられたか知りませんが、同じ頃に Wess がやっているのです。U(3) をやっているのです。それはほとんど、われわれと同じ時期にやったのです。ところが当時、three field theory というのを、Thirring がやったのです。baryon の説明をするのに、三つばかり入れるんだけど p , n , Λ なんて具体的なことは言わずに、three field theory。

その three field theory に基づいて、Wess が論文を書いているのです。まだ Wess も駆け出しの頃ですから、立派な論文とは言えなくて、Wyle の Classical Groups を引き写したような論文でしたけど、それはセルンで評判が悪かった。だいたい Thirring の評判が悪かったのです。いろいろな粒子が既約表現に出てくるので、そんなのはどうも、useful じゃないということが記録に残っています。

セルンの雰囲気として、やっぱりそちらをやる雰囲気がなかったのか、誰が潰したのか知りません。山口さんは、俺の話を Glashow が盗んだと。そして彼が向こうへ持って行って、Gell-Mann にしゃべったと言うんですけど、その真相は知りません。

藤井 : 大貫さんは山内さんに話を聞きに行ったりもしたんでしょう？ それでどういうことを習ったんですか？

大貫 : 僕は群論に非常に苦勞して、formulationをやっている最中に、東京に行ったときに、山内先生に会って、入れ知恵をしてもらおうと思った。そうしたら山内さんはすぐ会ってくれました。そして、「おまえの話は非常に興味がある。だけど俺はそういう数学は知らん」と。

それでさすがはボスですね。「ちょっと待て」って言って電話をしたんです。岩堀さんという東大の数学者に。それで岩堀氏に電話して、そして「いま、大貫というのが来ているから、おまえの知っていることを講義しろ」と命令が下った。

そうしたら岩堀先生も山内先生の命令ですから、いついつかに話しますというので、岩堀先生の講義を、僕と山内先生と、もう一人、東大の数学にいて辞めてしまった、誰だっけ。群論の本を書いたでしょう。あの薄っぺらい、共立で。

九後 : 杉浦さん。

大貫 : そうそう。杉浦さん、岩堀さんのところの。彼と3人が講義を受けることで、初めて僕は、本格的な群論の講義を、例えば単純指標とは何かというような話を、そのとき初めて聴いたのです。

ですが、わかったことは、それはそのままじゃ使いものにならないということです。つまり言葉が違うのです。目的とするものが。だからそれをかなり modify しないといけないんだけど、面白かった、勉強になりました。山内先生は非常に親切に、そういうことをやってくさいました。

そのときに、もう一つ覚えていることは、あとで、先生から激励の手紙を受け取りまして、そのときに μ, e, ν のトリオはどう考えますかということが書いてありました。それは名古屋模型と、あとで関連することになるわけですけど、そのときはそういう意識がなくて、あんまり重要なこととは思っていなかったのです。しかし、すぐあとになって、それを考えることになるわけです。

こういう裏話をしていると、いくら時間があっても足りないので。今日はもうこのぐらいに…。

九後 : その講義を受けられたのは何年ですか。

大貫 : 講義を受けたのは、多分 1959 年の 6 月です。

九後 : どうもありがとうございます。

坂東 : なんでこんなに早くから日本でやっていたのに、あとに続かなかったのか。クォークモデルにつながらなかったんですかね。

大貫 : これが非常に大事なことで、僕はそういうことをいつも聞かれるので、言い訳じゃなくて考えますと、やっぱり僕は坂田先生の影響が強かったと思うんです。つまり reality ということが非常に大事なんです。reality を考えますと、fractional charge っていう概念は当時ないのです。それですから、そんなことを忘れて、抽象化一本に絞って進めば、あとから言うので何とも言えませんが、あるいはクォークという可能性はあったかもしれない。しかし当時すべてモデルを考えるときの基本前提は integral charge でした。いま、fractional charge はみなさん、びくともしないと思うけれども、あれは Gell-Mann ですら非常に言い訳をしているわけです。もちろん Zweig は拒否されたわけですし、Gell-Mann はアメリカの雑誌に投稿したら断られるだろうというので、『Physics Letters』に出したという話も残っています。彼も盛んに言い訳をしているわけです。

だから、確かにそれは困難だったかもしれませんが、日本でもっと気楽にそういう考えに到達できれば、fractional charge を出したかもしれません。しかしそういうことを言えば、

坂田先生の影響を受けなかった人が出したっていいわけですよね。ところが出ないわけです。
藤井：だからちょっとその、フレキシブルなところが問題なんですね。
大貫：そうですね。そういう話をやるといくらでも出てくるのですが、申しわけないけど…。
九後：それはまた懇親会などで。どうもいろいろ、面白い話をありがとうございました。



ph04 早川，田中－中西/藤井/大貫//大貫/蔵本//大貫，南部，坂東/山田/蔵本